

**FILTRAÇÃO EM MARGEM NO TRATAMENTO DE ÁGUA:
AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DA TÉCNICA NO MANANCIAL
DA LAGOA DO PERI, SANTA CATARINA, E ANÁLISE PRÉVIA
DE VIABILIDADE DE APLICAÇÃO EM RIO GRANDE,
RIO GRANDE DO SUL**

LUIZ PAULO DOS SANTOS CAMPOS

Orientador: BRUNO SEGALLA PIZZOLATTI

2012 / 1



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL**

**FILTRAÇÃO EM MARGEM NO TRATAMENTO DE ÁGUA:
AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DA TÉCNICA NO MANANCIAL
DA LAGOA DO PERI, SANTA CATARINA, E ANÁLISE
PRÉVIA DE VIABILIDADE DE APLICAÇÃO
EM RIO GRANDE, RIO GRANDE DO SUL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos
requisitos para Conclusão do Curso de Graduação em
Engenharia Sanitária e Ambiental

LUIZ PAULO DOS SANTOS CAMPOS

**Orientador:
Msc. Bruno Segalla Pizzolatti**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
AGOSTO/2012**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL**

**FILTRAÇÃO EM MARGEM NO TRATAMENTO DE ÁGUA:
AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DA TÉCNICA NO MANANCIAL
DA LAGOA DO PERI, SANTA CATARINA, E ANÁLISE
PRÉVIA DE VIABILIDADE DE APLICAÇÃO
EM RIO GRANDE, RIO GRANDE DO SUL**

LUIZ PAULO DOS SANTOS CAMPOS

Trabalho submetido à Banca Examinadora e julgado adequado como parte dos requisitos para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental

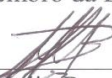
BANCA EXAMINADORA:



Msc. Bruno Segalla Pizzolatti
(Orientador)



Msc. Rívea Medri Borges
(Membro da Banca)



Msc. José Julio Barrios Restrepo
(Membro da Banca)

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
AGOSTO/2012**

Campos, Luiz Paulo S.

Campos, Luiz Paulo S. – Florianópolis, 2012. 58f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.

1. Filtração em Margem. 2. Tratamento de Água. 3. Tecnologia Alternativa.

Dedico este trabalho, e todo o percurso até tal consagração, à minha família, pelo estímulo incondicional e o suporte de valores para que tudo fosse possível.

E, em especial, ao eterno e *imortal* Paulo Pereira Campos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter concedido saúde e oportunidade para cursar um curso promissor em uma Universidade de excelência.

Aos meus pais, em especial a Dona Noêmia que esteve presente em todos os anos, que se privaram de várias coisas para me dar educação e valores suficientes para encarar a vida de frente.

Agradeço aos meus irmãos, Everton e Viviane, por todo auxílio e apoio desprendido para com minhas atividades de maneira que eu sempre superasse meus desafios e com eles adquirisse mais sabedoria.

Agradeço, também, aos cunhados e sobrinhas por todo auxílio e apoio desprendido para com minhas atividades.

À Universidade Federal de Santa Catarina, juntamente com seus professores, pelos ensinamentos e dedicação.

Agradeço aos membros do Lapoá que fizeram parte, em diferentes intensidades, dessa pesquisa apresentada, ao longo dos 2 anos, e de todo o legado deixado para a vida profissional. Em especial, ao Bruno Pizzolatti, meu orientador, por todo desprendimento, elucidação e parceria e ao Luis Romero por todo o trabalho prático, orientação e o companheirismo nas mais diversas horas.

Agradeço a Vidroquímica MS Teixeira, em especial ao Alex, pela atenção e a disponibilidade dos dados requeridos.

Agradeço a todos os meus colegas, pelo tempo maravilhoso que compartilhamos diariamente nesses cinco anos, aos meus amigos novos, que se tornarão velhos amigos, e aos meus velhos amigos, que serão meus eternos amigos.

Agradeço a seleção chamada IGFC, pela parceria em todos os jogos e desafios da vida, meus eternos amigos.

Agradeço as turmas 07.2 e aos formandos 12.1 pela parceria em todos os passos. “Essas turmas são ‘feera’, bitxo !”.

Agradeço a todos que tiveram a paciência em dividir um lar, cumplicidades e as melhores histórias, desde o Verde Mar E306 até o Boulevard C602.

Agradeço a presença da, minha pequena, Driele no fim desse percurso e nesse momento de transição tão importante e a toda motivação, carinho e compreensão prestados.

Enfim, agradeço a todos, que de uma forma ou outra, me ajudaram nessa caminhada, para agora, comemorem e embarquem em um novo curso comigo.

“Sirvam nossas façanhas
De modelo a toda Terra”

(Francisco Pinto de Fontoura)

CAMPOS, L.P.S. *Filtração em Margem no Tratamento de Água: Avaliação da Aplicação da Técnica no Manancial da Lagoa do Peri, Santa Catarina, e Análise Prévia de Viabilidade de Aplicação em Rio Grande, Rio Grande do Sul*. Florianópolis, 2012, 58f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis

RESUMO

A filtração em margem (FM) é uma tecnologia de tratamento de água que consiste no emprego de materiais, naturais, da margem e do fundo do manancial superficial como meio filtrante. Nos locais de estudo, o subsolo é composto, em predominância, por areia fina, característica peculiar de êxito da FM. Com o objetivo de avaliar a aplicação e funcionamento da técnica, o estudo se constituiu em dois locais de estudo. Primeiramente, o manancial da Lagoa do Peri, fonte de abastecimento de água da costa leste e sul de Florianópolis, SC, onde foi avaliada a aplicação da técnica de FM para produção de água, reforçado por um comparativo com a filtração direta (FD) da Estação de Tratamento situada no local. Em Rio Grande, na planície costeira do extremo sul do Brasil, foi promovida uma análise prévia para aplicação da técnica no local, analisando características básicas de formação e constituição hidrológicas e hidrogeológicas. A água filtrada em margem apresentou uma melhora significativa nos parâmetros de turbidez, cor aparente, além de indicativos da ausência de microorganismos no estudo em Santa Catarina, porém é comprovado o ligeiro acréscimo de outros parâmetros como concentrações de manganês e sulfatos, produtos da atividade de degradação em meio anaeróbio, que pode ser contornado por sistemas de aeração e/ou filtração em areia. Em ambos os casos, a técnica se mostra viável como tratamento de água, com a possibilidade de aplicação de tratamento complementar para remoção de eventuais substâncias que não se enquadrem em norma específica e/ou desinfecção para eliminação dos organismos patogênicos.

Palavras Chave: Tratamento de Água, Filtração em Margem, Tecnologia Alternativa.

CAMPOS, L.P.S. *Bank filtration in water treatment: Assessment of Implementation of Technical in Lagoa do Peri lake, Santa Catarina, and Preliminary Feasibility Analysis of Application in Rio Grande, Rio Grande do Sul*. Florianópolis, 2012, 56f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis

ABSTRACT

Bank filtration (BF) is a water treatment technology that uses the materials of bank and bottom superficial source as filtration media. In the study sites, the subsoil consists in predominance, fine sands, peculiar characteristic of a BF successful. In order to evaluate the implementation and operation of technical, this study was made in two study sites. The first one, Lagoa do Peri lake, a source of water supply for the east coast and south of Florianópolis, SC, where we evaluated the application of the BF technique for water production and comparison with direct filtration (DF), the technology used by the water treatment plant. The second Rio Grande, in the coastal plain of southern Brazil, was promoted a previous analysis of de application of the technique by, analyzing the basic characteristics of formation and constitution hydrological and hydrogeological. In the study sites, the subsoil consists in predominance, fine sands, peculiar characteristic of a BF successful. The filtered water showed a significant improvement in parameters of turbidity and color, that is indicative of absence of microorganisms in Santa Catarina site, but it is proven the slight increase of other parameters such as manganese and sulfates, products of anaerobic degradation, which can be improved by aeration systems and sand filtration. In both cases, the technique is feasible as a water treatment technology, with the possibility of post treatment to remove any additional substances which do not fit standard specific and/or disinfection for the elimination of pathogenic organisms.

Keywords: Water Treatment, Bank Filtration, Alternative Technology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Importância da água subterrânea para abastecimento de água potável nas Américas do Sul e Central.....	20
Figura 2: Esquema simplificado ilustrativo da tecnologia	23
Figura 3: Esquema dos processos envolvidos na técnica da filtração em margem (adaptado de SENS <i>et al.</i> , 2006)	26
Figura 4: Manancial e Estação de Tratamento da Lagoa do Peri	31
Figura 5: Imagem ampla do Manancial da Lagoa do Peri.....	32
Figura 6: Localização dos Pontos de Estudo na Lagoa do Peri.....	32
Figura 7: Localização do Saco da Mangueira na cidade de Rio Grande/RS.....	34
Figura 8: Localização dos pontos de análise nas Margens do Manancial - Saco da Mangueira em Rio Grande/RS.....	35
Figura 9: Poço de Monitoramento/Captação da Água Filtrada em Margem na Lagoa do Peri	36
Figura 10: Corte Esquemático do Perfil do Poço de Captação do Sistema de Filtração em Margem na Lagoa do Peri	36
Figura 11: Coleta pelo método Purga de Baixa Vazão (Micropurga) ...	37
Figura 12: Contextualização e Comparativo da Formação Hidrogeológica dos locais de estudo.	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação da Potencialidade dos Solos a FM	28
Quadro 2: Parâmetros, métodos e equipamentos utilizados na coleta de dados experimentais.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resumo de aspectos geográficos, morfológicos e meteorológicos da Lagoa do Peri e região circundante.....	33
Tabela 2: Dados de Amostragem e Análises Laboratoriais	41
Tabela 3: Dados comparativos entre FM e FD	44
Tabela 4: Dados de Qualidade da Água – Saco da Mangueira	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB	Água Bruta
APHA	Associação Americana de Saúde Pública
COD	Carbono Orgânico Dissolvido
COT	Carbono Orgânico Total
CASAN	Companhia Catarinense de Água e Saneamento
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETA	Estação de Tratamento de Água
FD	Filtração Direta
FM	Filtração em Margem
LALP	Laboratório da Lagoa do Peri
MON	Matéria Orgânica Natural
ORP	Potencial de Oxidação-Redução
P20	Ponto de Análise – Lagoa do Peri / SC
P1;P2;P3	Pontos de Análise – Saco da Mangueira / RS
SIAGAS	Serviço de Informações de Águas Subterrâneas
SPD	Subprodutos da Desinfecção
SUVA	Absorvância Específica Ultra Violeta (254 nm)
TAM	Trihalometanos
UVA	Absorvância Ultra Violeta (254 nm)
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
WHO	Organização Mundial da Saúde

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	16
2.1. Objetivo Geral.....	16
2.2. Objetivos Específicos.....	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1. Panorama Histórico do Tratamento de Água para Consumo Humano	17
3.2. Disponibilidade e Exploração de Água Subterrânea	19
3.3. Qualidade da Água Potável.....	21
3.4. Panorama da Filtração em Margem	22
3.5. Filtração em Margem, uma Tecnologia Alternativa	23
3.6. Filtração em Margem como Tecnologia Social	26
3.7. Fatores de Influência na Aplicação da Técnica.....	27
3.7.1. Solos e Estabilidade das Margens.....	28
3.7.2. Condutividade Hidráulica.....	29
3.7.3. Taxa de Infiltração.....	29
4. METODOLOGIA	30
4.1. Caracterização das Áreas de Estudo.....	31
4.1.1. Manancial da Lagoa do Peri - Florianópolis/SC.....	31
4.1.2. Região Litorânea do Extremo Sul - Rio Grande/RS	33
4.2. Construção do Poço de Captação na Lagoa do Peri.....	35
4.3. Programa de Amostragem	37
4.4. Análises Laboratoriais e Coleta de Dados Experimentais ..	38

4.5. Coleta de Dados em Rio Grande/RS	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
5.1. Avaliação da Aplicação da Técnica na Lagoa do Peri	41
5.2. Comparativo com a Filtração Direta	43
5.3. Análise de Viabilidade Prévia em Rio Grande/RS	46
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	50
7. REFERÊNCIAS	52
ANEXOS	57

1. INTRODUÇÃO

A obtenção de água em quantidade suficiente e com a qualidade adequada para o consumo humano sempre foi uma grande preocupação da humanidade. O aspecto estético, a partir das características organolépticas, era o objetivo exclusivo e inicial, rejeitando as águas que apresentavam cor, odor e sabor acentuados. Posteriormente, a adequação das águas rejeitadas se dava por simples decantação ou associação de filtração em leito de areia, de modo a promover a clarificação.

Doenças indicam a relação patogênica da água e a caracteriza como veículo de proliferação. Como a contaminação da água da fonte pode não alterar suas características estéticas, constata-se que o odor, sabor, cor e turbidez não são critérios suficientes para atestar a qualidade da água e que há a necessidade de se aprimorar os processos de tratamento da água, de modo a garantir também a sua qualidade sanitária.

A desinfecção, por legislação vigente (Portaria 2914 de 2011 do Ministério da Saúde), é considerada essencial para garantir a qualidade sanitária da água a ser distribuída à população, sendo a utilização de hipoclorito de sódio ou de cálcio viável e utilizada em pequenas instalações e o cloro líquido acondicionado em cilindros de aço, em estações de tratamento majoradas.

Sem minimizar a capacidade e eficiência no processo de desinfecção, o cloro diminui o risco de infecções patogênicas, mas também reage com a matéria orgânica presente na água, produzindo subprodutos de desinfecção (SPDs) que podem impactar significativamente a saúde do consumidor final (CRITTENDEN et al., 2005; GOPAL, et al., 2007). Dentre os subprodutos da cloração encontram-se os trihalometanos (TAM), que têm sido associados a um aumento no risco de câncer na bexiga e defeitos reprodutivos (WHO, 2008).

Diante desse panorama, o desenvolvimento e a necessidade de métodos alternativos de tratamento de água se tornam cada vez mais evidente. A filtração em margem é uma técnica simplificada que utiliza como meio filtrante os próprios materiais constituintes da margem e do fundo do manancial superficial, em que, durante o percurso da água até o poço de captação, ocorrem vários processos físico-químicos e biológicos que permitem a remoção de poluentes físicos, químicos e biológicos.

A Universidade Federal de Santa Catarina é destaque precursor do estudo no Brasil, através do Laboratório de Potabilização de Água (LAPOÁ) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. O grupo de pesquisa trabalha a quase uma década na remoção de cianobactérias e saxitoxinas no manancial da Lagoa do Peri na Ilha de Santa Catarina, bem como na aplicação da técnica em estudos de remoção de agrotóxicos e em efetivos estudos em pequenas comunidades rurais. O grupo de pesquisa tem parceria e colaboração constante com grupos de pesquisa com a Universidade Federal de Pernambuco, Universidade Técnica de Berlin (TU Berlin) e com a Universidade de Ciências Aplicadas de Dresden. Nessas duas Universidades Europeias, os pesquisadores têm ampla experiência em pesquisa em implantação, projeto, simulação e monitoramento.

Para a promoção deste estudo em destaque no Brasil, na Capital de Santa Catarina, são utilizados poços de monitoramento instalados a diferentes distâncias da margem da Lagoa do Peri, nas proximidades da captação de água da Estação de Tratamento que abastece a Sul e Leste de Florianópolis. O poço de captação abstrai a vazão de 33m³/d com 50mm de diâmetro e 12m de profundidade, com o intuito de analisar a qualidade da água promovendo a simulação do abastecimento contínuo e estudando a viabilidade da aplicação da técnica como alternativa efetiva.

O desenvolvimento e a aplicação da tecnologia de filtração em margem, também como tecnologia social, podem fazer com que problemas decorrentes da exposição de contaminantes, através da água, sejam minimizados e que pequenas comunidades, estrategicamente instaladas, ultrapassem as crises causadas pela baixa qualidade da água de consumo, amenizando impactos do abastecimento de água deficitário.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade de aplicação da técnica de Filtração em Margem como tecnologia alternativa de tratamento de água, quanto à viabilidade e eficiência da aplicação da técnica, em Florianópolis/SC e Rio Grande/RS, e à conformidade com as características físico-químicas da água produzida nos locais de aplicação do estudo.

2.2. Objetivos Específicos

- ✓ Monitorar e analisar a eficiência da aplicação da técnica no Manancial da Lagoa do Peri, Florianópolis, Santa Catarina;
- ✓ Analisar e avaliar a eficiência da tecnologia em comparativo a técnicas consolidadas aplicadas em locais e/ou situações semelhantes;
- ✓ Monitorar e analisar a eficiência de remoção de compostos precursores para formação de subprodutos da desinfecção convencional;
- ✓ Caracterizar, por premissas básicas, ambientes propícios para a aplicação viável da técnica como tratamento de água;
- ✓ Analisar, por características próprias e séries de dados, a viabilidade de aplicação da técnica em Rio Grande, Rio Grande do Sul.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Panorama Histórico do Tratamento de Água para Consumo Humano

O tratamento da água compreende o emprego de diferentes operações e técnicas unitárias para adequar a água de diferentes mananciais aos padrões de qualidade definidos pelos órgãos de saúde e agências reguladoras.

As exigências de qualidade da água evoluíram e prosseguem, em processo contínuo, acompanhando os avanços do conhecimento técnico e científico.

As instalações humanas surgiram com o fim do nomadismo, iniciados pela capacidade em produzir e cultivar alimentos. Era considerada apenas a quantidade de água para suprir a dessedentação, a agricultura incipiente, a higiene e, posteriormente, a diluição de dejetos. A necessidade de satisfazer essa demanda foi a determinante da fixação das comunidades humanas em locais próximos aos rios ou lagos.

Durante diversos séculos, a qualidade da água não era considerada fator restritivo, embora os aspectos estéticos demonstravam grande influência na escolha da fonte e, conseqüentemente, do local de fixação. Historicamente, água pura era aquela limpa, clara, de bom sabor e sem odor. As pessoas ainda não relacionavam a água contaminada às doenças e não dispunham de tecnologia necessária para reconhecer que a estética agradável não garantiria a ausência de microrganismos danosos à saúde.

Da mesma forma, em tais primórdios da civilização, os efeitos da captação de água e do lançamento dos dejetos eram desprezíveis. Porém, com o aumento da população fixada e agrupada, concentradas nas imediações dos mananciais, acentuou-se a contaminação das águas superficial e subterrânea.

Na Índia, um documento com pelo menos 4.000 anos, e que parece ser o primeiro em sistematizar uma metodologia de tratamento da água, orientava as pessoas à fervura ou exposição da água ao sol, ao uso de peças de cobre aquecidas que deveriam ser mergulhadas na água várias vezes, complementado com filtração e resfriamento posterior em potes cerâmicos. Já o uso de alumínio para remover sólidos suspensos parece ter ocorrido pela primeira vez no Egito em 1.500 anos a.C. (BAKER; TARAS, 1981).

Na Idade Média, os serviços de saneamento não recebiam atenção de destaque. O crescimento das cidades e a distribuição deficitária de água e ausência de coleta de esgoto efetiva resultaram em situações incômodas e perigosas para a saúde, com ocorrência de endemias e proliferação de pestes. Então, os trabalhos para melhorar a salubridade das cidades começaram, apenas, nos séculos XIV e XV e o marco histórico de início da efetiva e moderna engenharia sanitária começou em 1815, na Inglaterra, e desenvolveu-se após a epidemia de cólera em 1831 (BRITO, 1943).

Já durante o século XVIII, o conhecimento científico agregado até então possibilitou aos cientistas maior entendimento referente à origem e efeito dos contaminantes presentes nas fontes de água, especialmente aqueles que não eram visíveis a olho nu e que nem sempre estavam associados à cor, odor ou sabor, mostrando a relação direta da água com problemas relacionados de saúde (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Até o início do século XX não havia padrões de qualidade sanitária para a água potável. Nos Estados Unidos, ainda na década de 1890, a United States Public Health Service (USPHS) recomendou e fomentou um esforço cooperativo para a padronização dos testes bacteriológicos, evoluindo para a primeira edição do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (CEBALLOS, et al., 2009).

Um dos tratamentos mais antigos e eficazes é a fervura da água, porém, do ponto de vista prático, restringe à aplicação no âmbito das unidades residenciais. Em 1870, e durante alguns anos posteriores, o uso de filtros de areia e de outras técnicas de tratamento ainda visava melhorar o aspecto estético da água, eliminar o odor e melhorar o sabor. Com isso, o avanço do conhecimento promoveu tratamento da água, com tecnologias eficazes, com vistas à proteção à saúde.

Da segunda metade do século XIX à primeira metade do século XX, o tratamento da água teve como objetivo principal a clarificação e a remoção de organismos patogênicos, em torno do que foram se desenvolvendo as consolidadas técnicas de coagulação, floculação, decantação e desinfecção (CEBALLOS, et al., 2009).

Assim, as tecnologias convencionais de tratamento, visando à clarificação e desinfecção da água, foram aprimoradas ao longo do tempo, incorporando novas técnicas ou variantes, tais como a flotação, a filtração direta, a filtração em múltiplas etapas, além do emprego de novos desinfetantes (e, por conseguinte, a geração de novos produtos secundários de desinfecção).

Técnicas mais sofisticadas para a detecção e quantificação de substâncias e organismos diversos se mantêm em constante e rápida evolução. A detecção e quantificação de concentrações cada vez menores de contaminantes capazes de resultar em efeitos crônicos à saúde, bem como o reconhecimento de novos patógenos de veiculação hídrica, tendem a diversificar e tornar mais rigorosos os padrões de potabilidade.

Assim, tais fatos impõem, concomitantemente, o desafio da inovação tecnológica no tratamento da água para consumo humano.

3.2. Disponibilidade e Exploração de Água Subterrânea

Águas subterrâneas consistem em toda a água que ocorre abaixo da superfície da Terra, preenchendo os poros ou vazios intergranulares das rochas sedimentares, ou as fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas, e que é submetida a duas forças, adesão e gravidade. (BORGHETTI, 2011).

Segundo levantamentos de Costa (2008), os estoques de água subterrânea são estimados em cerca de 70 vezes o volume total das águas doces de superfície, e sob o ponto de vista bacteriológico e químico, a qualidade das águas subterrâneas é muito superior a das águas superficiais, além da menor demanda de tratamentos antipoluentes.

Costa (2008) frisa, também, que a exploração de águas subterrâneas apresenta seguintes vantagens em comparativo às águas superficiais:

- ✓ Dispensa de tratamento químico que onera as águas superficiais em dispendiosas ETA's;
- ✓ Distribuição setorizada permitida, promovendo a descentralização e/ou interligação da exploração;
- ✓ Área de captação e proteção extremamente reduzida;
- ✓ Menores redes de adução;
- ✓ Obras de captação menos onerosas;
- ✓ Possibilidade de implantações gradativas de sistemas, conforme crescimento da demanda, promovendo maior flexibilidade de gestão da água captada;
- ✓ Simplicidade e rapidez na construção de poços, em comparativo a barragens;
- ✓ Maior proteção a poluições químicas;
- ✓ Impactos ambientais reduzidos;

- ✓ Manutenção mais segura e individualizada;
- ✓ Custos econômicos inferiores.

O sistema possui, também desvantagens, como as limitações de recarga do sistema hídrico subterrâneo e manutenções e custos energéticos mais elevados. Com base nas desvantagens, Costa (2008) reforça que deve haver um planejamento e uma gestão integrada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, que ocorrem no âmbito de cada bacia hidrográfica, a fim de proporcionar a utilização mais racional, econômica e de qualidade para atendimento da demanda populacional.



Figura 1: Importância da água subterrânea para abastecimento de água potável nas Américas do Sul e Central

Fonte: COSTA (2008)

Até o final da década de 1950, a água subterrânea apresentava um irrisório percentual de uso em relação às águas superficiais. Ao longo das últimas décadas o uso da água subterrânea tem apresentado índices muito elevados em face das crescentes demandas, além de razões econômicas e estratégicas (COSTA, 2008).

Costa (2008) levanta que, para abastecimento humano, alguns países como a Arábia Saudita e a Dinamarca usam exclusivamente águas subterrâneas e outros, como Alemanha, Itália e Rússia, utilizam o manancial hídrico subterrâneo como fonte de abastecimento de mais de 70% da população. Tais números revelam que em países de primeiro mundo, onde há disponibilidade econômica e tecnológica é considerado o binômio custo-benefício, destacando a exploração das águas subterrâneas.

No Brasil, a utilização das águas subterrâneas ainda se mostra modesta, com crescente evolução nos últimos anos pela procura de alternativas eficazes de suprimento de demandas.

“A água subterrânea insere-se cada vez mais no cenário nacional como uma das alternativas apropriadas para gestão dos recursos hídricos, compartilhando com outras soluções o propósito de atender plenamente à sociedade brasileira naquilo que se considera ser o mais precioso bem do Terceiro Milênio” (SAMPAIO, 2000).

3.3. Qualidade da Água Potável

Muitos elementos e substâncias químicas podem ser encontrados naturalmente na água, entretanto, as atividades agrícolas e industriais podem elevar a concentração de alguns produtos a valores impróprios ao consumo humano (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

O Ministério da Saúde estabelece através da Portaria nº 2914 (BRASIL, 2011), os procedimentos e responsabilidades referentes ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Conforme descrito nessa portaria, potável é a água destinada ao consumo humano cujos parâmetros microbianos, físicos, químicos e radioativos atendam ao padrão de potabilidade e que, também, não ofereçam riscos a saúde.

O padrão de potabilidade da água consiste no conjunto de valores máximos permissíveis das características de qualidade da água, acima da qual ela é considerada não potável (FREITAS, 2001).

Em relação aos padrões de ordem estética, a água potável deve ser isenta de propriedades organolépticas, devendo apresentar baixos valores de cor e turbidez. Quanto aos padrões de ordem biológica, não deve conter microorganismos patogênicos, tais como bactérias, vírus, protozoários, vermes e outros. Os padrões de ordem química estabelecem limites de substâncias nocivas ou tóxicas, como é o caso dos agrotóxicos e cianotoxinas (BRASIL, 2011).

3.4. Panorama da Filtração em Margem

A filtração em margem é um processo simples e que pode ser empregado como um pré-tratamento e, em alguns casos de eficiência necessária, como único tratamento antes da desinfecção obrigatória na produção de água potável (KÜHN & MÜLLER, 2000). Com amplo uso na Europa e nos EUA foi utilizada pela primeira vez, em 1810, pela Companhia do Reino Unido (Glasgow Waterworks), que construiu uma tubulação drenante, paralela ao rio de Clyde, para extrair água filtrada de sua margem. Mas apenas, em meados do século XIX, que a filtração em margem foi adotada oficialmente na Europa para produzir água potável. (RAY, et al., 2002).

A filtração em margem já é largamente utilizada em vários países do mundo. A partir dessa técnica é fornecida 50% da água potável na Republica Eslovaca, 45 % na Hungria, 16% na Alemanha e 5% na Holanda (SCHUBERT, 2002).

No Brasil, a filtração em margem não tem registros de larga aplicação efetiva da técnica para o abastecimento público, porém existem casos em que a filtração em margem é utilizada inconscientemente como, por exemplo, no Alto-Vale do Itajaí, no Estado de Santa Catarina, no qual a população costuma abastecer as residências próximas com água de boa qualidade resultante de poços construídos, normalmente de 1,2 a 1,5 m de diâmetro, ao longo dos rios afluentes do rio Itajaí Açu (SENS *et al.*, 2006) e, por relatos pessoais e observações de campo, a efetiva aplicação em diversos locais da planície costeira do extremo sul, com destaque para pequenas localidades na cidade de São José do Norte, próximo a Rio Grande/RS.

3.5. Filtração em Margem, uma Tecnologia Alternativa

A filtração em margem consiste em uma técnica de tratamento de água que utiliza os materiais sedimentares das margens e do fundo de um manancial superficial como meio filtrante. Para isso, poços de captação são construídos em suas margens, que criam artificialmente, ou maximizam, através do bombeamento, uma diferença de nível entre o manancial e o lençol freático, induzindo o escoamento da água em direção ao poço. Os contaminantes, ou parte significativa deles, presentes na água superficial são removidos nesse trajeto (SENS, et al., 2006).

Segundo estudos de Dillon *et. al.* (2002), a água que chega ao poço é, na maioria das vezes, uma mistura entre as águas das margens e a do lençol freático. A proporção dessa mistura dependerá principalmente da distância do poço até a margem e de suas características, da vazão bombeada e das condições hidrogeológicas locais.

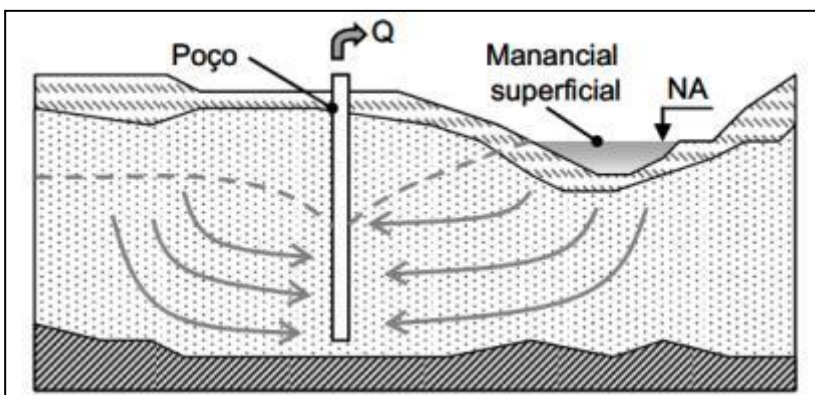


Figura 2: Esquema simplificado ilustrativo da tecnologia

Fonte: SENS et al., (2006)

Com base histórica de utilização, os poços construídos distanciam-se das margens dos mananciais de 15 a 50 metros, mas podem ser encontrados poços com distâncias superiores, na faixa de 100 a 150 metros (Dillon *et al.*, 2002).

A profundidade dos poços varia em relação ao nível do solo de 7 a 15 metros, e a relação entre o nível do solo e o nível do lago é de 4 a 8 metros, provocando um desnível entre o fundo do poço e o nível da água

do lago de 3 a 7 metros. Esse desnível aumenta em momentos de enchentes e, dependendo da vazão de bombeamento, parte da água vem provavelmente do lago e do lençol freático, que é alimentado por águas de chuvas (Dillon *et al.*, 2002).

Historicamente, existem três tipos de poços usados para a filtração em margem, desde que a tecnologia foi estabelecida (RAY *et al.*, 2002).

As tecnologias mais empregadas são:

✓ **Poço de coletores horizontais ou poço coletor:** consiste em tubulação central de grande diâmetro, penetrado no solo com proteções horizontais laterais. Cravadas no depósito inconsolidado do aquífero, em muitos casos, em depósitos aluviais abaixo de um rio ou de um lago. Esse sistema é usado e consolidado nos Estados Unidos para produção de água de abastecimento com fonte na água subterrânea ou na efetiva filtração por margem do rio;

✓ **Poço vertical ou poço tubular:** consiste, basicamente, em um poço perfurado verticalmente no solo em uma camada suporte da água ou sob o leito de um corpo hídrico. O poço vertical difere do poço de coletores horizontais por não ser constituídos de drenos laterais no fundo;

✓ **Poço escavado:** um poço raso, com grande diâmetro que, na maioria dos casos, é escavado manualmente, usando-se maquinário de pequeno porte e/ou ferramentas de mão. São tipicamente construídos para fonte de água residencial individual.

Os poços verticais e os poços de coletores horizontais foram utilizados pela primeira vez para a filtração em margem, na década de 1890, na Europa. Os poços refletiam os meios técnicos disponíveis daquele tempo. Já os poços escavados eram em forma cilíndrica e tinham diâmetros de 7 a 10 m, com a parede perfurada na parte mais baixa, com tijolos de alvenaria. A água subterrânea podia penetrar através da terra por meio da parede perfurada. (RAY, *et al.*, 2002).

As tecnologias de abertura e construção de poços foram desenvolvidas no fim do século XIX. Os poços escavados foram substituídos por poços tubulares com filtros, entretanto o equipamento

usado para bombeamento de água sub-superficial era limitado. Somente as bombas de pistão, impulsionadas por motores a vapor, estavam disponíveis. Os rendimentos dos poços verticais da época eram muito baixos, sendo comparados aos dos poços escavados. Surgiu então a técnica do tubo sifão, na Alemanha, para captar água em um grande número de poços de filtração vertical, usando somente uma bomba. Os sistemas de poços do tipo sifão, utilizados geralmente em aquíferos rasos, são conectados através de um distribuidor de descarga a uma ou mais bomba de sucção. (RAY, *et al.*, 2002).

Mondardo (2004) friza que antes de selecionar a alternativa apropriada a ser utilizada no projeto dos poços, é necessária uma investigação hidrogeológica nos locais, onde serão implantados os poços. O processo da investigação tem como objetivos: avaliar as características hidráulicas de cada formação, selecionando os mais apropriados horizontes dentro da formação, para melhor instalar o poço; selecionar o método mais eficiente na instalação dos filtros dos poços, aumentando ao máximo o rendimento, seguindo premissas básicas de implantação e/ou estudo da aplicação da técnica.

O modo pelo qual a água se move no solo é um fator de relevância na técnica. Dillon *et al.* (2002) pregam que esse movimento depende de três forças que agem sobre ela: a adsorção, que retém uma fina película de água em volta das partículas do solo, por atração molecular; a capilaridade, que retém ou move a água em pequenas aberturas, como resultado da tensão superficial; a gravidade, que move a água através dos poros maiores, por diferença de carga ou quando existe um gradiente hidráulico. A resultante dessas forças depende, em parte, da quantidade de umidade presente em relação ao espaço livre do material poroso.

Não são completamente conhecidos todos os fenômenos ou princípios envolvidos na filtração da água pelo solo. Sabe-se que o processo da percolação, em camada arenosa, removem muitos contaminantes e poluentes e evita que alcancem o reservatório de água subterrânea ou o poço de filtração em margem, apesar de poderem carrear materiais depositados e presentes na camada do subsolo.

Existem seis principais processos envolvidos na filtração em margem, ilustrados na figura 3, a filtração, a biodegradação, a sedimentação, a adsorção, a dispersão e a diluição, que consiste na mistura com águas subterrâneas (HISCOCK e GRISCHEK, 2002).

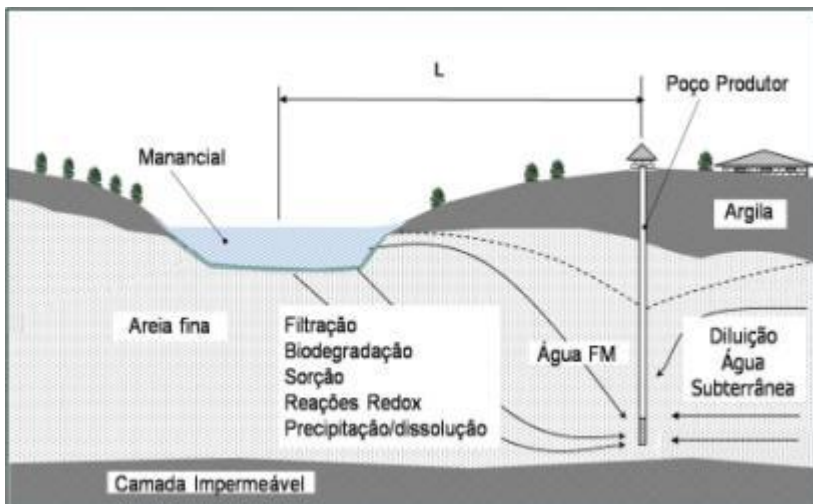


Figura 3: Esquema dos processos envolvidos na técnica da filtração em margem (adaptado de SENS *et al.*, 2006)

Fonte: HISCOCK e GRISCHEK (2002)

3.6. Filtração em Margem como Tecnologia Social

Do ponto de vista tecnológico, a água de qualquer qualidade pode ser, em princípio, transformada em água potável, porém, os custos envolvidos e a confiabilidade na operação e manutenção podem inviabilizar o uso de um determinado corpo d'água como fonte de abastecimento. Existe uma relação intrínseca entre o meio ambiente e as tecnologias de tratamento, isto é, em função da qualidade da água de um determinado manancial e suas relações com o meio ambiente, há tecnologias específicas para que o tratamento seja eficientemente realizado (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Dessa forma, em decorrência do crescente nível de urbanização, o tratamento de água para abastecimento público passa a ser um desafio constante, seja pelos grandes volumes de água envolvidos para suprimento de demandas, restrições de área para instalação dos sistemas de tratamento tradicionalmente utilizados e, também, por conta da degradação da qualidade da água dos mananciais disponíveis. Estas condições tem conduzido à busca de diferentes alternativas que possibilitem garantir a qualidade da água produzida para abastecimento público.

Nesse sentido, surgem as *tecnologias sociais*, que consistem em produtos, técnicas ou metodologias aplicadas diretamente em comunidades que trazem como resultado a transformação social e/ou o suprimento das necessidades básicas da população local. A concepção valoriza a comunidade organizada para tornar-se agente de soluções, com características locais, permitindo a autogestão e o trabalho.

A filtração em margem, então, surge como uma técnica potencial de transformação, já que, segundo Grischek (2009), além da produção de água de boa qualidade, tem a vantagem de simplificar o processo e permitir uma diminuição dos custos de manutenção e operação, a longo prazo, nas estações de tratamento de água, por conta da redução do consumo de produtos químicos nas etapas de coagulação, floculação e/ou desinfecção, permitindo que, em menor escala, a técnica seja aplicada de forma descentralizada.

Fundamentado pelo que Costa (2008) considerou para a exploração da água subterrânea, a filtração em margem como tecnologia social facilita a construção de um planejamento e uma gestão integrada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, que ocorrem no âmbito de cada bacia hidrográfica, a fim de proporcionar a utilização mais racional, econômica e de qualidade para atendimento da demanda populacional.

3.7. Fatores de Influência na Aplicação da Técnica

Segundo estudos de Dillon *et al.* (2002), Grischek e Ray (2009), a aplicação da filtração em margem depende das condições hidrológicas, hidrogeológicas, hidroquímicas e hidrobiológicas do local. Assim, uma caracterização detalhada das condições locais se faz necessária. Os bons resultados obtidos principalmente em regiões temperadas devem ser estudados e avaliados para a sua aplicação em zonas tropicais e subtropicais. A variação das condições de nível nos rios/lagos deve ser considerada em épocas de secas e cheias nos climas tropicais e subtropicais do Brasil.

Baseados em estudos de caso já realizados principalmente no continente Europeu e Norte Americano onde a tecnologia é fortemente empregada, cria-se uma série de parâmetros ideais para aplicação da tecnologia de tratamento de água, constituindo as premissas básicas de viabilidade de aplicação.

As principais premissas básicas postuladas por Grischek e Ray (2009) são:

- ✓ Solos predominantemente arenosos;
- ✓ Estabilidade das margens;
- ✓ Silte e argila, em porcentagem reduzida (camada superficial);
- ✓ Profundidade, do aquífero, superior a 10 m;
- ✓ Condutividade hidráulica entre 10^{-2} e 10^{-4} m/s;
- ✓ Velocidade média do rio superior a 1 m/s;
- ✓ Taxa de infiltração em torno de 0,2 m³/m².d;
- ✓ COT e COD inferiores a 8 e 6 mg/L, respectivamente.

3.7.1. Solos e Estabilidade das Margens

Em termos de classificação do solo, o quadro 1 apresenta a classificação quanto a potencialidade para a Técnica de Filtração em Margem, com base nas características peculiares a cada solo (EMBRAPA, 2006).

Quadro 1: Classificação da Potencialidade dos Solos a FM

Classificação	Principais Características	Solo
Baixo potencial	Solos argilosos/muito argilosos. Possibilidade de cimentação. Condições de drenagem restritas.	Latossolos, Nitossolos, Argissolos, Espodossolos, Gleissolos e Organossolos
Médio potencial	Solos com características variando de acordo com a região. Pouco evoluídos.	Neossolos e Cambissolos
Alto potencial	Solo com predominância de areia ou areia-franca em todos os horizontes. Essencialmente quartzosos.	Neossolo Quartzarênico

Fonte: EMBRAPA (2006)

A técnica tem resultados mais satisfatórios em margens estáveis e camadas superficiais com menor índice de permeabilidade, evitando interferências externas (GRISCHECK e RAY, 2009).

3.7.2. Condutividade Hidráulica

Condutividade hidráulica é o coeficiente de proporcionalidade da equação de Darcy que determina o movimento de fluidos num meio poroso. No solo, expressa a facilidade com a qual a água é transmitida no perfil (GUERRA, 2000).

Na filtração em margem, é de fundamental importância o conhecimento de tal parâmetro, o qual indica o tempo de recarga e permeação da água no solo.

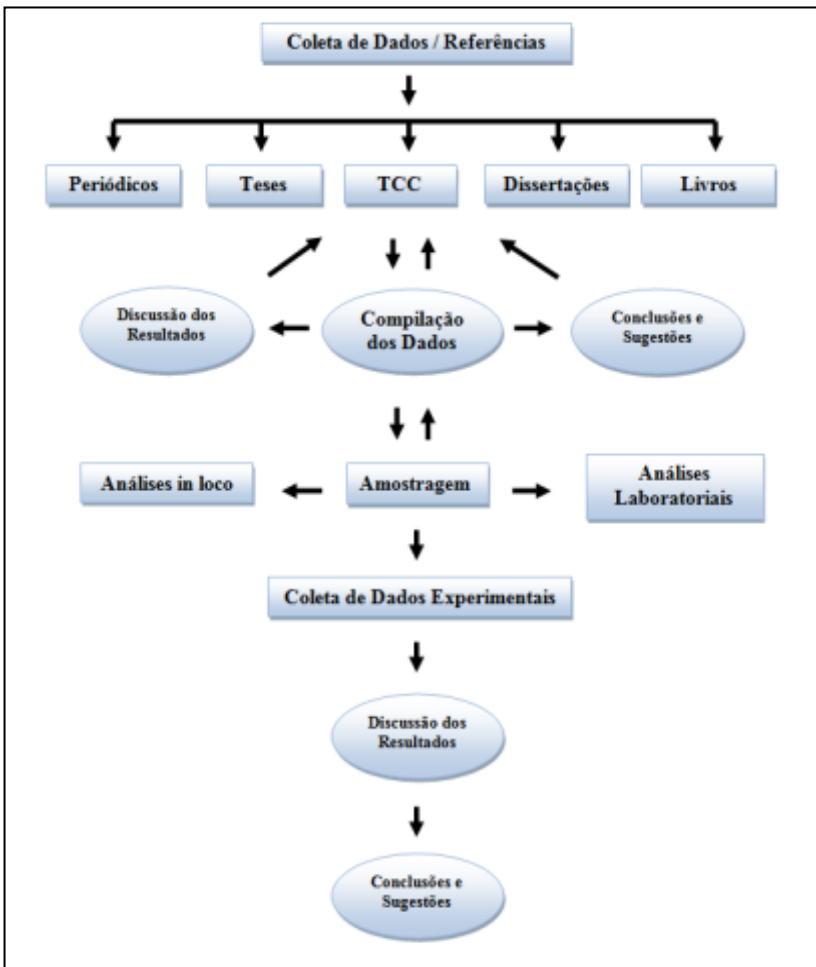
3.7.3. Taxa de Infiltração

A taxa de infiltração pode ser definida como a taxa que um determinado solo absorve de água durante um espaço de tempo definido (GUERRA, 2000).

No caso da técnica de FM, a taxa de infiltração tem relação com a contribuição vertical da água subterrânea captada e produzida.

4. METODOLOGIA

A sequência lógica e cronológica da metodologia aplicada, em todas as etapas e objetivos do estudo, é descrita no seguinte fluxograma estruturado:



Fluxograma 1 – Estruturação da Metodologia Aplicada

4.1. Caracterização das Áreas de Estudo

As áreas de estudo, o Manancial da Lagoa do Peri e a Região Litorânea do Extremo Sul, em Florianópolis/SC e Rio Grande/RS, respectivamente, constituem o campo de análise do estudo.

4.1.1. Manancial da Lagoa do Peri - Florianópolis/SC

A região de estudo, o manancial da Lagoa do Peri (figura 4), está localizado a sudeste da Ilha de Santa Catarina, tem área superficial de 5,2 km² e é alimentado principalmente pelos Rio Cachoeira Grande e Rio Ribeirão Grande (OLIVEIRA; 2002).



Figura 4: Manancial e Estação de Tratamento da Lagoa do Peri

Fonte: GOOGLE, (2012)

A Lagoa está rodeada por colinas nos bordos sul e norte e separada do mar por um estreito de terra de aproximadamente 800 metros de largura (figura 5) e a única comunicação com o Oceano Atlântico é feita através de um canal sangradouro. A água da Lagoa é totalmente doce por estar aproximadamente a 3 metros acima do nível do mar, suficiente para não ocorrer a intrusão da cunha salina em variações de maré.



Figura 5: Imagem ampla do Manancial da Lagoa do Peri

A água da Lagoa do Peri é utilizada para abastecer o Sul e o Leste da Ilha de Santa Catarina desde o ano 2000.

Os estudos foram desenvolvidos no campo experimental da Lagoa do Peri, no município de Florianópolis, Santa Catarina, onde foram construídos poços de monitoramento e captação/produção nas margens do manancial juntamente com uma estrutura laboratorial (LALP – Laboratório de Águas da Lagoa do Peri), localizada junto a Estação de Tratamento de Água da CASAN (figuras 4 e 6).

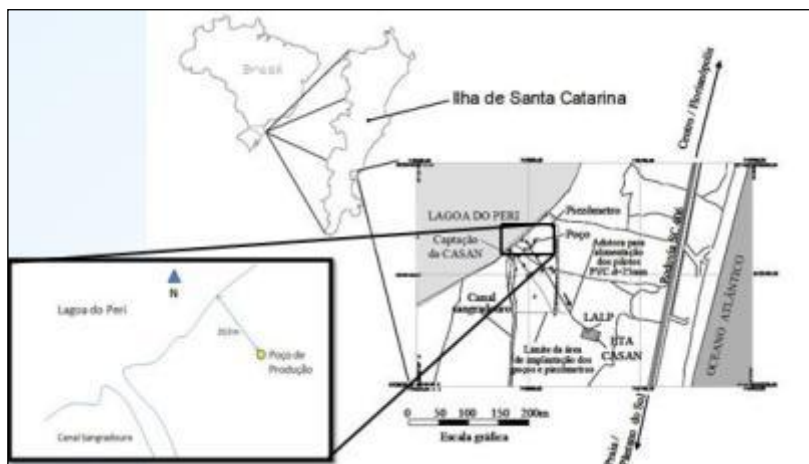


Figura 6: Localização dos Pontos de Estudo na Lagoa do Peri

O solo na margem da lagoa do Peri no sul da Ilha de Santa Catarina é formado basicamente por sedimentos marinhos, com uma camada de areia escura a partir da superfície e até 1 metro de profundidade, produto da mistura com matéria orgânica vegetal decomposta. Entre 1 e 4 metros predomina areia fina clara, com ocorrência de bolsões de matéria orgânica misturada. Entre 4 e 18 m predomina areia fina branca (diâmetro efetivo 0,1 a 0,14 mm), com uma fração argilosa menor que 1 %. De 18 a 23 m ocorre uma camada argilosa (SENS *et al.* 2006).

Tabela 1: Resumo de aspectos geográficos, morfológicos e meteorológicos da Lagoa do Peri e região circundante.

Parâmetros	Valores
Altitude	3 m
Comprimento máximo	3900 m
Largura máxima	1800 m
Profundidade máxima	11 m
Profundidade média	4,2 m
Área superficial	5,2 km ²
Volume	21,2 x 10 ⁶ m ³
Área da bacia	20 km ²
Temperatura média no inverno	16,4 °C
Temperatura média máxima no inverno	21 °C
Temperatura média mínima no inverno	13 °C
Temperatura média no verão	24,3 °C
Temperatura média máxima no verão	28 °C
Temperatura média mínima no verão	13 °C

Fontes: Simonassi (2001) e Mondardo (2004)

4.1.2. Região Litorânea do Extremo Sul - Rio Grande/RS

Fundamentado na caracterização básica do solo da região, conforme as premissas básicas de aplicação da técnica, reforçada pelo conhecimento prévio dos locais e a disponibilidade de visitação, foi selecionada a Região Litorânea do Extremo Sul, em destaque a cidade de Rio Grande/RS, para a continuidade do estudo e a promoção de possibilidades de estudos mais específicos e completos.



Figura 7: Localização do Saco da Mangueira na cidade de Rio Grande/RS

Para tanto, foram selecionados 3 pontos, conforme disponibilidade de dados, ao redor da enseada semifechada, o Saco da Mangueira, conectada a Lagoa dos Patos, integrando a região estuarina.

A região aqui analisada fica localizada na cidade Rio Grande no RS, a área costeira conhecida como Saco da Mangueira, com uma área de 27,2 km² e uma profundidade média de 1 metro, que tem comunicação com o estuário por um estreito canal mais profundo, em média 5 metros. Em uma das margens, localiza-se o Distrito Industrial de Rio Grande, onde se encontram o P1 e P2, e, em outra, encontram-se bairros da cidade, caracterizado pelo P3. No fundo da enseada há uma zona de marisma e aporte de águas continentais oriundas de arroios, sendo essa a zona da enseada mais distanciada de aportes antropogênicos (BAUMGARTEN, 2010).

Os três poços de análise tem a profundidade aproximada de 10 metros, enquanto apresentam distâncias diferentes da margem da Enseada. O poço P1 está localizado cerca de 50 metros distante da margem, enquanto os poços P2 e P3 tem a distância aproximada de 20 metros, similar ao poço de estudo localizado na Lagoa do Peri.

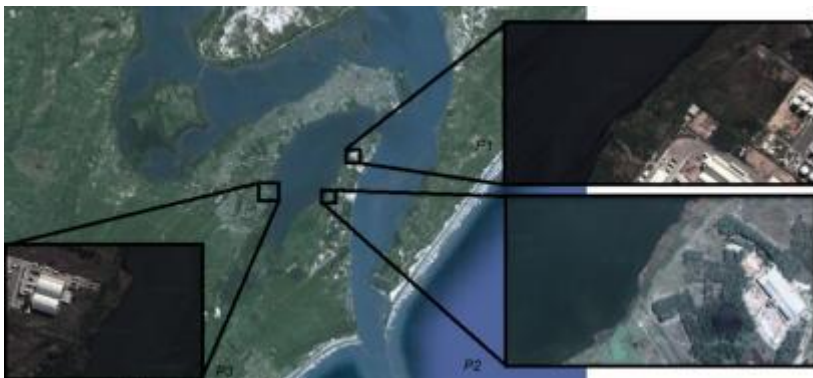


Figura 8: Localização dos pontos de análise nas Margens do Manancial - Saco da Mangueira em Rio Grande/RS

Fonte: GOOGLE, (2012)

O Saco da Mangueira não é homogêneo em sua batimetria. Há grande instabilidade salina em função das entradas e saídas de água estuarina. A circulação interna favorece a oxigenação das águas e a ressuspensão dos sedimentos de acordo com o vento atuante. Isso faz com que a coluna d'água dessa enseada mantenha-se oxigenada. (BAUMGARTEM et al., 1995).

4.2. Construção do Poço de Captação na Lagoa do Peri

O poço foi construído, de acordo com a norma “Construção de Poços de Monitoramento e Amostragem” ABNT 15495-1:2007, a uma distância de 20 metros da margem da lagoa do Peri e foi aberto com diâmetro de 100 mm e profundidade 12 m. O revestimento foi feito com tubo de PVC de diâmetro 50 mm, com ranhuras (screen) apenas nos últimos 2m, envolto e constituído por pré-filtro de areia.

Também foram construídos poços de proteção em cada lado do poço principal, distantes 20 metros da lagoa. Os poços de proteção foram previstos para assegurar que a água bombeada do poço principal fosse oriunda, preferencialmente, de infiltrações recentes através das margens da lagoa. Porém, avaliações em estudos de SENS et al.(2006), revisadas, sobre o escoamento do lençol freático na área de estudo, mostraram que os poços de proteção não precisariam ser utilizados, em função da vazão constante extraída do poço principal, promovendo a manutenção do fluxo da água proveniente da Lagoa.



Figura 9: Poço de Monitoramento/Captação da Água Filtrada em Margem na Lagoa do Peri

Fonte: Romero (2011)

Após a construção do poço principal (perfil esquematizado na figura 10), o qual foi operado inicialmente com uma vazão de $24 \text{ m}^3/\text{d}$, e hoje opera com uma vazão de captação de $33 \text{ m}^3/\text{d}$, utilizando a lei de Darcy, foi calculada a velocidade de infiltração e o tempo de percurso, enquadrando as características do experimento nas premissas básicas de funcionamento da técnica.

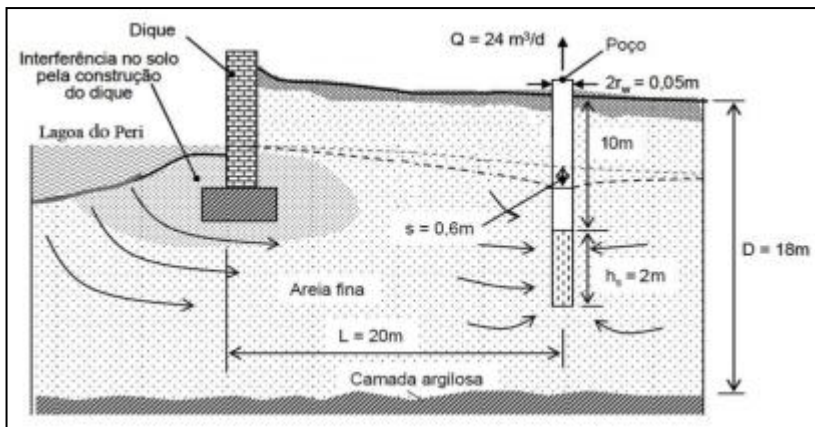


Figura 10: Corte Esquemático do Perfil do Poço de Captação do Sistema de Filtração em Margem na Lagoa do Peri

Fonte: adaptado de Sens et al.(2006).

4.3. Programa de Amostragem

Foram realizadas 4 amostragens completas, referentes a primeira parte do programa. As amostragens previstas visavam realizar a análise de sazonalidade do funcionamento e eficiência da técnica. Por conta de problemas operacionais e vandalismos na área de localização do poço de captação, foram cessadas as amostragens e não cumprido o cronograma inicial para a segunda parte da análise

O procedimento de amostragem utilizado nos poços auxiliares foi o método Purga de Baixa Vazão (Micropurga) (figura 11). O método consiste na purga controlada do poço, utilizando-se baixas vazões, causando o mínimo de rebaixamento possível durante o bombeamento. No processo de purga e amostragem por baixa vazão utilizou-se equipamento marca QED Environmental System (Michigan, USA) incluindo: sonda multiparâmetros modelo MP 20, bombas de bexiga modelo Sample Pro Portable MicroPurge Pumps, controlador de bombeamento modelo MP10, controlador de rebaixamento modelo MP30 e compressor modelo MP 40.



Figura 11: Coleta pelo método Purga de Baixa Vazão (Micropurga)

Mediante esse procedimento pelo método de Micropurga, também no poço principal, são obtidos os parâmetros pH, oxigênio dissolvido, porcentagem de saturação de oxigênio, temperatura, condutividade e o potencial redox (Eh). Além desses parâmetros, a turbidez é medida no momento de amostragem utilizando um turbidímetro portátil marca Hach modelo 2100. Após a estabilização desses parâmetros foram coletadas as amostras para posteriores análises em laboratório. A preservação das amostras, conforme necessidade, se deu por refrigeração e analisadas em até 7 dias.

O procedimento para coleta direta do poço de produção foi realizado por sistema de bombeamento simples e contínuo, instalado ao lado do poço de captação, constituído por bomba centrífuga e conexões em PVC soldável de 25mm introduzidas no poço e conduzidas até a extremidade inferior, promovendo a captação direta em contato com a água subterrânea.

As amostras de água bruta (AB) foram coletadas perto da ligação da Lagoa ao Canal Sangradouro, numa distância mínima de 1 metro e uma profundidade entre 30 cm e 50 cm da superfície, seguindo as recomendações do Standard Methods (APHA *et al.*, 2005).

A fim de promover um comparativo de eficiência das técnicas, a coleta das amostras da filtração direta, pós-coagulação, da ETA da Lagoa do Peri se deu nas tubulações após os filtros, antes das adições para desinfecção, seguindo o mesmo procedimento e cuidados do poço de produção/captação.

Tanto as amostras de água bruta, como as amostras dos poços e da filtração direta da ETA foram analisadas de imediato ou preservadas segundo o tipo de análise a ser realizada, seguindo as recomendações específicas da HACH (HACH, 2007) e/ou descritas no Standard Methods (APHA *et al.*, 2005). Os recipientes de coleta foram devidamente limpos, de maneira a eliminar todos os possíveis interferentes de matéria orgânica, e preenchidos totalmente, sem presença de bolhas de oxigênio (*head space*).

4.4. Análises Laboratoriais e Coleta de Dados Experimentais

Os parâmetros, os métodos e os equipamentos utilizados para as análises laboratoriais restantes estão descritos no Quadro 2.

Quadro 2: Parâmetros, métodos e equipamentos utilizados na coleta de dados experimentais

Parâmetros	Métodos Analíticos / Equipamentos
Absorbância 254 nm	Método 5910B – Standard Methods Espectrofotômetro UV-Visible modelo Cary 1E - Varian
Alcalinidade total (mg/L)	Volumétrico / Titulador digital
Cor aparente (uH)	APHA Platinum - Cobalt –S.M Espectrofotômetro , $\lambda = 455\text{nm}$
Cor verdadeira (uH)	Idem ao da cor aparente, com filtração em membrana 0,45 μm
Carbono orgânico total COT (mg/L)	Kit HACH – método 10129/ Espectrofotômetro DR 2800
Carbono orgânico dissolvido COD (mg/L)	Kit HACH – método 10129/ Espectrofotômetro DR 2800
Cloretos (mg/L)	Volumétrico / Titulador digital
Dureza total (mg/L)	Volumétrico / Titulador digital com EDTA
Turbidez (uT)	Turbidímetro portátil HACH DR 2100
Parâmetros REDOX	Espectrofotômetro HACH DR2800
Sulfatos (mg/L)	Dionex DX-120

Além do oxigênio e o ORP (determinados com sonda multiparâmetros modelo MP 20) os parâmetros REDOX estudados e analisados em laboratório são nitrato , nitrito, manganês (II), ferro (II), sulfeto e sulfato. Os quatro primeiros foram analisados utilizando reagentes e espectrofotômetros (DR 2800 ou DR 2021), marca HACH. Foram utilizados os métodos 8146 para ferro, 8192 para nitrato, 8507 para nitrito, 8149 para manganês e 8131 para sulfeto (Hach, 2007). O íon sulfato foi determinado utilizando um cromatógrafo marca Dionex modelo Dionex DX-120 seguindo o método recomendado pelo fabricante.

Para análise de COT/COD e absorção de luz ultravioleta a 254 nm, as amostras foram filtradas com um filtro de fibra de vidro de 0,45 μm , da marca Macherey-Nagel, previamente lavado no sistema de filtração com ao menos 300 ml de água ultrapura para remover qualquer resíduo de matéria orgânica presente no filtro.

4.5. Coleta de Dados em Rio Grande/RS

A instabilidade na hidrodinâmica dentro da enseada explica as variações espaciais e temporais na salinidade da coluna d'água (BAUMGARTEN, 2010).

Com base nesse aspecto peculiar, salientado pelo histórico de dados da Empresa *Vidroquímica SM Teixeira*, prestadora de serviços de análises de água para inúmeras indústrias da região e, em especial, algumas que margeiam a Enseada, foram estabelecidos e disponibilizados os dados de quatro datas de análise mensais, entre setembro e dezembro de 2011, onde os valores de salinidade são praticamente nulos, pela interferência minimizada da cunha salina.

Os dados, portanto, foram fornecidos pela Vidroquímica SM Teixeira de forma voluntariosa. Como mencionados na descrição da área, foram disponibilizados os dados de três pontos marginais ao Saco da Mangueira e dados de Água Bruta de datas semelhantes as análises dos pontos estudados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Destacando os objetivos traçados, buscam-se resultados que, baseado na metodologia apresentada, comprovem ou respondam as hipóteses e ratifique os próprios objetivos específicos, nos diferentes pontos e locais de estudo.

A explanação dos resultados se dará em diferentes tópicos. No primeiro, a avaliação exclusiva da FM perante os resultados de amostragem e análise. Em seguida, um comparativo com a tecnologia de FD aplicada na Estação de Tratamento por meio de análises realizadas junto a amostragem da FM. Por fim, a análise de viabilidade prévia da aplicação da técnica no manancial do Saco da Mangueira, em Rio Grande/RS.

5.1. Avaliação da Aplicação da Técnica na Lagoa do Peri

Os dados estatísticos das amostragens realizadas no poço de produção/captação e na água bruta da Lagoa do Peri, conforme descritas na metodologia, são expressos na tabela 2:

Tabela 2: Dados de Amostragem e Análises Laboratoriais

Parâmetros	AB	FM	Padrão de Potabilidade*
Turbidez (uT)	6,70 ^a ± 0,89 ^b (5,13 - 7,30) ^c	0,19 ± 0,07 (0,13 - 0,31)	0,5 (pós filtração)
Cor Aparente (uH)	89,80 ± 2,95 (85,00 - 92,00)	6,50 ± 2,95 (3,00 - 10,00)	15
Temperatura (°C)	20,67 ± 3,95 (15,56 - 24,20)	22,35 ± 0,18 (22,08 - 22,49)	-
Condutividade (mS/cm)	0,064 ± 0,004 (0,061 - 0,069)	0,235 ± 0,010 (0,228 - 0,247)	-
pH	7,38 ± 0,64 (6,71 - 7,96)	7,86 ± 0,13 (7,70 - 8,00)	6,0 - 9,5
Alcalinidade (mg/L)	7,40 ± 0,27 (7,10 - 7,60)	105,50 ± 5,54 (100,00 - 115,00)	-
Dureza Total (mg/L)	11,53 ± 0,81 (10,40 - 12,70)	95,83 ± 8,28 (87,00 - 106,00)	500

^a médias. ^b Desvio padrão. ^c Mínimos e máximos.

* Portaria 29145 de 12 de Dezembro de 2011 (Ministério de Saúde, 2011).

Tabela 3: Dados de Amostragem e Análises Laboratoriais

Parâmetros	AB	FM	Padrão de Potabilidade*
Dureza Cálcio (mg/L)	$7,86 \pm 3,15$ (3,80 - 11,30)	$85,60 \pm 4,72$ (81,00 - 93,00)	-
Dureza Magnésio (mg/L)	$4,21 \pm 2,65$ (1,84 - 7,50)	$10,50 \pm 10,08$ (2,00 - 25,00)	-
Cloreto (mg/L)	$11,88 \pm 0,71$ (11,16 - 12,63)	$14,71 \pm 0,32$ (14,29 - 14,98)	250
Mn²⁺ (mg/L)	$0,017 \pm 0,003$ (0,015 - 0,020)	$0,094 \pm 0,036$ (0,058 - 0,141)	0,1 / 0,05**
Fe²⁺ (mg/L)	$0,013 \pm 0,014$ (0,005 - 0,030)	$0,010 \pm 0,009$ (0,000 - 0,020)	0,3 (Fe total)
H₂S (mg/L)	$0,007 \pm 0,002$ (0,005 - 0,008)	$0,018 \pm 0,020$ (0,001 - 0,043)	0,1
OD (mg/L)	$8,64 \pm 0,68$ (8,02 - 8,78)	$0,02 \pm 0,23$ (0,01 - 0,22)	-
COD (mg/L)	$3,42 \pm 0,46$ (3,10 - 4,10)	$3,32 \pm 1,15$ (1,70 - 4,40)	-
COT (mg/L)	$5,45 \pm 0,72$ (4,60 - 6,10)	$4,30 \pm 1,71$ (2,40 - 5,70)	-
UVA 254 nm (m⁻¹)	$0,078 \pm 0,015$ (0,067 - 0,100)	$0,055 \pm 0,003$ (0,052 - 0,060)	-
SUVA (L.m⁻¹.mg⁻¹)	$2,3 \pm 0,2$ (2,0 - 2,4)	$1,9 \pm 0,8$ (1,3 - 3,1)	-

^a médias. ^b Desvio padrão. ^c Mínimos e máximos.

* Portaria 29145 de 12 de Dezembro de 2011 (Ministério de Saúde, 2011).

** Padrões de Potabilidade estabelecido pela United States Environmental Protection Agency, vigente nos Estados Unidos (USEPA, 2002).

Durante o percurso até o poço de captação ocorrem vários processos físicos, químicos e biológicos que permitem a remoção de poluentes químicos e biológicos.

Como pode ser observada na tabela 2, a água filtrada em margem mostrou valores abaixo da norma para todos os parâmetros analisados. A remoção da turbidez foi de 97%, resultado semelhante aos estudos de Shamrukh e Abdel-Wahab (2008), realizados na Índia e Egito.

Durante o processo de FM observa-se uma redução da matéria orgânica, precursor de formação de Trihalometanos (TAM), devido

provavelmente à mudança no caráter e reatividade da Matéria Orgânica Natural (MON), a matéria orgânica de origem autóctone, durante o percurso pelo subsolo em meio anaeróbio, contudo não tão significativa, provavelmente pela presença e carreamento da matéria orgânica original do solo. No entanto, segundo estudos de Bezerra *et al.*, as alterações dos parâmetros de absorvância UVA₂₅₄ e absorvância específica SUVA, indicam uma mudança no caráter da MON mostrando uma redução da fração aromática.

Com isso, essa mudança do tipo de matéria orgânica possivelmente é refletida numa redução do potencial de formação de TAM, indicando que durante esse percurso são removidos, principalmente, a MON precursora da formação de TAM.

Percebe-se, também, o aumento da condutividade, alcalinidade e dureza na água filtrada em margem. Esse tipo de aumento já foi observado em estudos similares na Índia, ocorrendo provavelmente devido a erosão e lixiviação do solo pela água durante o percurso da lagoa ao poço de captação.

Os dados que apresentam certa elevação de alguns parâmetros, provavelmente decorrentes da atividade microbiológica em meio anaeróbio, remetem, conforme necessidade de enquadramento nas normas aplicáveis como o caso dos sulfetos, a utilização de outra técnica auxiliar de tratamento para tal fim, além da desinfecção para eliminação de organismos patogênicos.

Outro fato concluinte é a necessidade da adoção de um sistema de aeração ou oxidação após da FM, devido às condições anaeróbias ou anóxicas da água filtrada em margem, facilitando o contorno de problemas decorrentes de possíveis concentrações inadequadas de Fe^{2+} e H_2S , gerando lodo e odor a água produzida.

Portanto, este estudo registra, até então, a potencialidade da filtração em margem como pré-tratamento para a produção de água de qualidade aceitável. Porém, a continuação deste e a realização de outros estudos são necessários para determinar a possibilidade de se utilizar esta tecnologia como um único tratamento seguido da desinfecção.

5.2. Comparativo com a Filtração Direta

A fim de promover um comparativo e ratificar a eficiência do sistema de FM, foi comparada a qualidade da água resultante do sistema de filtração direta, pós-coagulação, operado pela ETA da CASAN com a água do sistema de filtração em margem em termos de alguns parâmetros físico-químicos e organolépticos, além da capacidade de

remoção da matéria orgânica natural, durante o mesmo período de amostragem e análise, como descrito na metodologia.

Para isso, a tabela 3 forma um comparativo, com os dados resultantes das duas tecnologias.

Tabela 4: Dados comparativos entre FM e FD

Parâmetros	AB	FM	FD
Turbidez (uT)	$6,70^a \pm 0,89^b$	$0,19 \pm 0,07$	$2,69 \pm 0,01$
Cor Aparente (uH)	$89,80 \pm 2,95$	$6,50 \pm 2,95$	$39,00 \pm 6,00$
Temperatura (°C)	$20,67 \pm 3,95$	$22,35 \pm 0,18$	$19,12 \pm 3,57$
Condutividade (mS/cm)	$0,064 \pm 0,004$	$0,235 \pm 0,010$	$66,00 \pm 2,00$
pH	$7,38 \pm 0,64$	$7,86 \pm 0,13$	$5,97 \pm 0,06$
Alcalinidade (mg/L)	$7,40 \pm 0,27$	$105,50 \pm 5,54$	$6,70 \pm 3,80$
Dureza Total (mg/L)	$11,53 \pm 0,81$	$95,83 \pm 8,28$	$19,00 \pm 12,00$
Dureza Cálcio (mg/L)	$7,86 \pm 3,15$	$85,60 \pm 4,72$	$8,80 \pm 2,80$
Dureza Magnésio (mg/L)	$4,21 \pm 2,65$	$10,50 \pm 10,08$	$12,00 \pm 12,00$
Cloreto (mg/L)	$11,88 \pm 0,71$	$14,71 \pm 0,32$	$11,98 \pm 0,72$
OD (mg/L)	$8,64 \pm 0,68$	$0,02 \pm 0,23$	$8,82 \pm 0,67$
ORP (mV)	52 ± 32	-307 ± 6	168 ± 12
COD (mg/L)	$4,2 \pm 0,9$	$3,6 \pm 1,6$	$2,7 \pm 0,5$
COT (mg/L)	$6,0 \pm 0,7$	$4,3 \pm 1,7$	$3,2 \pm 1,0$
UVA 254 nm (m⁻¹)	$7,8 \pm 1,5$	$5,5 \pm 0,3$	$5,0 \pm 1,9$
SUVA (L.m⁻¹.mg⁻¹)	$2,3 \pm 0,2$	$1,9 \pm 0,8$	$2,1 \pm 0,5$

^a médias. ^b desvio padrão

Em operação, o sistema de filtração direta utilizado na Estação de Tratamento da Lagoa do Peri necessita de produtos químicos coagulantes para operação e obtenção de melhores resultados e a limpeza dos filtros é realizada diariamente, e individualmente, elevando custos e o tempo de pausa e manutenção.

O comparativo das tecnologias indica uma remoção de cerca de 60% nos parâmetros de cor aparente e turbidez no sistema operado pela CASAN, enquanto a redução utilizando a FM foi superior a 90% em ambos os parâmetros, mostrando a excelente eficiência da tecnologia para remoção de sólidos pelo poder de filtração e a melhoria das características estéticas da água, além do enquadramento satisfatório nos parâmetros da legislação vigente para potabilidade.

Para os parâmetros de alcalinidade, dureza, oxigênio dissolvido e íon cloreto para a filtração direta refletem as características da água bruta, devido, principalmente, a que no sistema de FD, os processos de remoção são basicamente coagulação/floculação e filtração mecânica. Já na filtração em margem, segundo Grischek (2002) existem processos de filtração, adsorção, diluição, dispersão, sedimentação e biodegradação, o que resulta na alteração de tais parâmetros.

Conforme estudos de Dash *et al* (2007), onde comparou um sistema de filtração em margem e um sistema de filtração rápida na Índia, a diferença das eficiências de remoção pode ser resultado, principalmente, das diferenças na velocidade de filtração, das características granulométricas do material filtrante e do tempo de detenção da água.

No que se refere a remoção da matéria orgânica, os valores do parâmetro SUVA (absorvância específica ultra-violeta a 254nm) relatam uma remoção semelhante, pelos tratamentos, da MON. Na FM tal remoção é dada de forma natural, enquanto na FD a coagulação promove um ambiente mais propício para a remoção pela filtração mecânica.

Dessa forma, a FD se mostra mais eficiente na remoção de COD e COT, porém conforme mencionado a respeito da distinção dos tempos de detenção, a análise da remoção efetiva pode ser variada pela influência da sazonalidade nas características da água bruta, além das atividades de carreação dos materiais constituintes do subsolo ou, até mesmo, interferências diretas no ponto de captação da água produzida pela FM.

5.3. Análise de Viabilidade Prévia em Rio Grande/RS

Como já mencionado na caracterização da área de estudo, a escolha da área da enseada do Saco da Mangueira foi fundamentada na caracterização básica do solo da região, em conformidade com as premissas básicas de aplicação da técnica, e reforçada pela presença de poços marginais e pela disponibilidade de dados de qualidade de água atualizados.

Dessa forma, com base nas características básicas de formação e constituição hidrológicas e hidrogeológicas, em comparativo com o estudo realizado na Lagoa do Peri, percebe-se a semelhança na constituição dos solos (figura 12), predominantemente compostos de areia, denominados depósitos litorâneos segundo o SIAGAS, constituindo as planícies aluviais brasileiras.

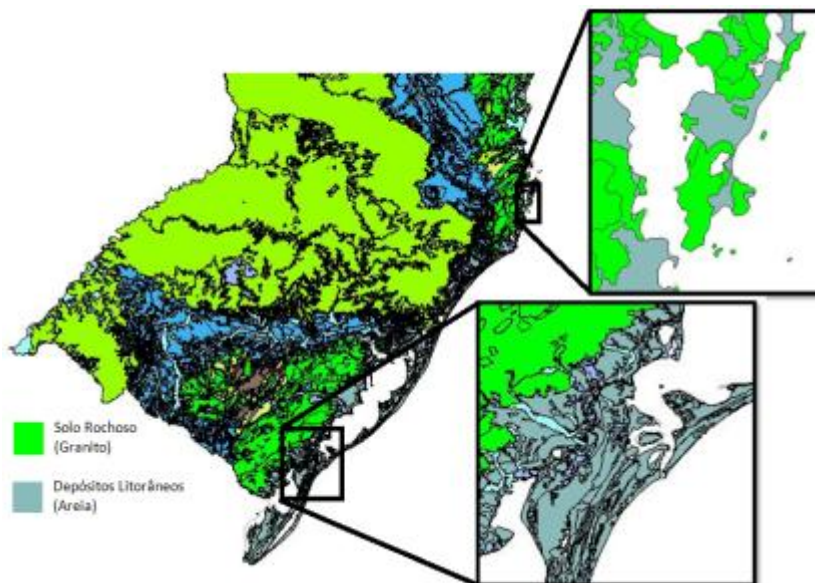


Figura 12: Contextualização e Comparativo da Formação Hidrogeológica dos locais de estudo.

Fonte: SIAGAS – Serviço de Informações de Águas Subterrâneas

A constituição hidrogeológica presente em Rio Grande se estende pelo litoral gaúcho, em sua totalidade, que aliado a presença significativa de mananciais de superfície pela extensão litorânea

declaram inúmeros possíveis locais de estudo para aplicação da tecnologia de filtração em margem.

A tabela 4 constitui uma caracterização da qualidade da água subterrânea marginal ao manancial e conseqüentemente a disparidade das características com a água bruta da enseada, o que representaria a eficiência da tecnologia de FM aplicada nos pontos.

Tabela 5: Dados de Qualidade da Água – Saco da Mangueira

Parâmetros	AB	P1	P2	P3
Turbidez (uT)	$23,5^a \pm 1,89^b$	$3,87 \pm 0,17$	$2,21 \pm 0,28$	$1,35 \pm 0,22$
Cor Aparente (uH)	$158,7 \pm 8,5$	$28,5 \pm 4,9$	$12,5 \pm 4,1$	$7,3 \pm 2,1$
Condutividade (mS/cm)	$72,7 \pm 28,5$	-	$171,8 \pm 93,4$	-
pH	$7,55 \pm 0,56$	$6,45 \pm 0,64$	$6,81 \pm 0,32$	$7,12 \pm 0,21$
Alcalinidade (mg/L)	$77,3 \pm 28,2$	-	$147,5 \pm 72,5$	-
Dureza Total (mg/L)	$110,3 \pm 88,8$	$265,3 \pm 98,8$	-	-
Cloreto (mg/L)	$395,0 \pm 125,7$	-	-	$144,2 \pm 21,7$
Sólidos Totais (mg/L)	$22,3 \pm 7,8$	-	$6,2 \pm 2,3$	$5,7 \pm 2,6$
Fósforo Total (mg/L)	$17,1 \pm 10,7$	$3,43 \pm 0,92$	-	-
DBO (mg/L)	$98,1 \pm 21,3$	-	-	$29,5 \pm 3,5$
DQO (mg/L)	$136,2 \pm 30,1$	-	-	$121,0 \pm 1,4$
OD (mg/L)	$8,7 \pm 0,9$	-	$0,5 \pm 0,2$	-

^a médias. ^b desvio padrão

Fonte: Vidroquímica SM Teixeira

O comparativo dos pontos de análise constroem diferentes cenários. Primeiramente, se percebe boa qualidade de água dos poços no que se refere às características estéticas, em especial ao P2 e P3, que sofrem menos contribuição de aportes industriais.

Por conta de não haver um cenário semelhante a aplicação na Lagoa do Peri, já que não existe o efetivo bombeamento e produção de água nos poços e com isso o comportamento do fluxo e a interferência da cunha salina, a utilização da água é limitada ao monitoramento de contaminação do solo e, no caso do poço P2, de utilização em processos industriais, inviabilizando comparativos de enquadramento em padrões de potabilidade.

Como no estudo da FM da Lagoa do Peri e em reportagens de estudos similares na Índia, é declarante o aumento da condutividade e da alcalinidade no P2 e da dureza no P1, provavelmente pela erosão ou lixiviação do solo durante o percurso da água.

Em uma análise de concentração de Sólidos Totais, é notável a redução nos pontos P2 e P3 em relação a água bruta, reforçando as características estéticas da água e o poder de filtração do solo pela filtração natural.

Os elevados índices de DBO e DQO na água bruta e no ponto P3, único analisado, declaram a presença de aportes marginais sem tratamento específico, contaminando a água do manancial e o solo próximo as contribuições de efluentes das residências e indústrias.

Em geral, os resultados salientam e reforçam que o Saco da Mangueira se divide em áreas distintas em termos de qualidade de água, em função dos tipos de aportes que cada uma recebe. Nos pontos P1 e P2 predominam os dejetos industriais, enquanto no P3 destaca o aporte doméstico, o que pode contribuir, também, para contaminação direta do solo e alteração das características da água produzida nos poços. Na área central e nas áreas da entrada, a eutrofização é menos pronunciada em comparativo com o fundo da enseada, pois a maior profundidade, a maior hidrodinâmica e a maior influência da presença da água marinha conferem maior potencial de autodepuração do manancial quanto aos aportes destinados.

Em termos da caracterização da água bruta da lagoa para confiabilidade dos dados e a contribuição das mesmas na caracterização dos poços, as coletas da Empresa emissora dos dados foram realizadas em pontos centrais da lagoa, a fim de evitar a alteração direta dos aportes nas margens da Enseada e a contribuição salina do ponto de ligação com o Estuário. Portanto, reforçado por Baumgarten (2005), que frisa que o Manancial de análise não é homogêneo em sua batimetria,

promove a instabilidade e diferenciação das características das águas em seus mais diversos pontos, limitando a caracterização individual dos pontos P1, P2 e P3 quanto a água que abastece o “sistema” de filtração em margem, em sua suposta ocorrência.

Outro fator de limitação é a variedade dos dados, que não permitem um comparativo fiel dos dados dos diferentes poços e a caracterização do melhor ponto de aplicação da técnica.

Além destes, pode-se citar a confiabilidade das metodologias de perfuração e captação da água dos poços, enquanto características de higienização e padronização, porém não é possível garantir a isenção de contribuições externas na obtenção de dados mais delicados, como sólidos e demandas biológicas e químicas de oxigênio, além de não conter dados diretos de carbono orgânico dissolvido e total.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir das análises de funcionamento e viabilidade de aplicação, o estudo conclui que a complexidade é muito superior a natureza simples da tecnologia. Existem muitas variáveis e características que interferem no sucesso e na eficiência da tecnologia. E estudos são necessários para a comprovação do real funcionamento, bem como da eficiência satisfatória da aplicação da técnica.

Porém, com as análises explanadas nos ambientes de estudo e pelo sucesso comprovado da técnica consolidada em alguns locais, é possível listar as vantagens e desvantagens da aplicação da Filtração em Margem.

A tecnologia tem por vantagens as seguintes características:

- ✓ Eficiência comprovada da técnica quando aplicada corretamente, em comparativo com outras tecnologias consolidadas;
- ✓ Promoção da descentralização do tratamento de água, surgindo como uma tecnologia social de custo reduzido e fácil adaptação comunitária;
- ✓ Redução ou isenção, em alguns casos, da utilização de compostos químicos no tratamento, como em etapas de coagulação e desinfecção;
- ✓ Redução da presença de compostos formadores de subprodutos da desinfecção;
- ✓ Remoção de algas e toxinas, destacando a técnica para ambientes com alta densidade de cianobactérias.

Como desvantagens e limitações da aplicação da técnica, pode-se observar

- ✓ Elevação de alguns parâmetros básicos na qualidade da água, devido as características anóxicas da água pela degradação em meio anaeróbico;
- ✓ Formação de compostos de sulfeto, conferindo odor a água produzida.

A tecnologia se mostra muito eficiente, principalmente, em comparativo com a filtração direta presente na Estação de Tratamento local. Em análise da proposta da substituição das técnicas na Lagoa do Peri, a FM se mostraria superior pelo fato de dispensar o coagulante

utilizado e a limpeza dos “filtros”, representado pelo fundo da Lagoa, se daria de forma natural, isentando a manutenção excessiva da FD. Para a desvantagem da FM em produzir características anóxicas e, com isso, a elevação do odor e de alguns parâmetros de qualidade da água, seria resolvida por uma etapa posterior de aeração e/ou filtração em areia, utilizando a atual estrutura da ETA para tanto, prolongando a carreira de filtração e diminuindo o consumo de produtos químicos, limitados apenas a desinfecção.

Contudo, na Lagoa do Peri, também é necessária a continuação dos estudos para análise do comportamento da técnica em função da sazonalidade climática, analisando a interferência da temperatura e do índice pluviométrico na aplicação da técnica, além da promoção de novos estudos para a consolidação da técnica no tratamento de água efetivo.

Na análise prévia da aplicação da técnica na Enseada do Saco da Mangueira em Rio Grande, comprovou-se a necessidade de uma maior riqueza de informações e dados, além de estudos mais concretos a respeito das características e formações hidrológicas e hidrogeológicas do local de estudo, além do estudo de interferência da sazonalidade da cunha salina na produção de água, a fim de arbitrar o melhor ponto de aplicação do estudo.

Dessa forma, o conhecimento prévio das características do solo é de fundamental importância, a partir de mapeamentos, como o apresentado, e análises das características físicas, como ensaios de granulometria e sondagem, além da taxa de infiltração e a condutividade hidráulica do solo do local.

Outro estudo indispensável para análise completa de viabilidade são os testes *in loco*, de bombeamento e infiltração, afim de caracterizar as contribuições e o poder de resiliência, a recarga, do sistema.

Apesar da necessidade da continuação de estudos relacionados, a FM aplicada na Lagoa do Peri, e em diversos locais pelo mundo, mostra a potencialidade da filtração em margem como tratamento para a produção de água de qualidade aceitável, com a possibilidade de aplicação de tratamento complementar para remoção de eventuais substâncias que não se enquadrem em norma específica, como a aeração, e/ou, unicamente, a desinfecção para eliminação dos organismos patogênicos ou, apenas, a satisfação da necessidade da desinfecção residual.

7. REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14495-1: Construção de Poços de Monitoramento e Amostragem**. Rio de Janeiro, 2007.
- APHA, AWWA, WEP. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21 ed., USA, American Public Health Association, 2005.
- BAKER, M.N.; TARAS, M.J. *The quest for pure water: the history of the twentieth century*. 2. Denver: AWWA, 1981. Volume I, 2. ed
- BAUMGARTEN, M. G. Z.; NIENCHESKI, L. F. H.; VEECK, L. *Nutrientes na coluna d'água e na água intersticial de sedimentos de uma enseada rasa estuarina com aportes de origem antrópica (RS)*. Atlântica, Rio Grande, v. 23, n. 1, p. 101-116, 2001.
- BAUMGARTEN, M. G. Z.; NIENCHESKI, L. F. H.; WALLNER-KERSANACH, M. *Aspectos hidroquímicos de duas enseadas no stuário da Lagoa dos Patos (RS, Brasil): impactada e natural*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOLOGIA, 2. 2005, Vitória.
- BAUMGARTEN, M.G.Z.; *A eutrofização das águas de uma enseada do estuário da Lagoa dos Patos (RS) protegida pela legislação ambiental*. In: *Fepam em Revista*; Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler. Porto Alegre. Vol. 3. 2010.
- BEZERRA, D.S.S.; SILVA, L.C.A.; ALVES, J.P.H.; GARCIA, C.A.B.; Impacto das variações sazonais do Carbono Orgânico Dissolvido no Processo de Tratamento de Água; Sociedade Brasileira de Química. 30ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. São Paulo. 2007.
- BORGHETTI, N.R.; BORGHETTI, J.R.; FILHO, E.F. *O Aquífero Guarani*. Rio de Janeiro, 2011.

- BRASIL. *Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde*. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.
- BRITO, F.S.R. *Abastecimento de águas: parte geral, tecnologia e estatística*. v. 3. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1943.
- CEBALLOS, B.S.; DANIEL, L.A.; BASTOS, R.K.X. *Remoção de microorganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano*. Rio de Janeiro: ABES, 2009.
- CASAN, 2008. Companhia Catarinense de águas e saneamento - *Mananciais superficiais utilizados pela CASAN na grande Florianópolis*. Disponível em <www.casan.com.br>. Acessado em setembro/2011.
- COSTA, W.D.; *Uso e Gestão de Água Subterrânea*. In: FEITOSA F. A. C.; FILHO, J. M. (Coordenação). *Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações*. (3ª edição); Fortaleza, CPRM/REFO, LABHID – UFPE, 2008.
- CRITTENDEN, J C.; TRUSSELL, R. R.; HAND, D. W.; HOWE, K. J.; TCHOBANOGLOUS, G. *Water Treatment - Principles and Design*. 2 Ed. USA: John Wiley & Sons, 2005.
- DILLON, P. J.; MILLER, M.; FALLOWFIELD, H.; HUTSON, J. *The potential of riverbank filtration for drinking water supplies in relation to microcystin removal in brackish aquifers*. Journal of Hydrology., v.266, n.3-4, p.209-221, 2002.
- DI BERNARDO, L., DANTAS, A.D.B. *Métodos e técnicas de tratamento de Água*. 2ª Edição, Volume 1. Editora Rima. São Carlos, 2005.
- DI BERNARDO, L.; SABOGAL-PAZ, L. P. *Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água*. São Carlos: Cubo, 2008. 2 v

- EDZWALD, J. K.; TOBIASON, J. E. Water Quality & Treatment. *Chapter 3: Chemical Principles Source Water Composition, and Wathershed Protection*. In: EDZWALD. Denver: American Water Works Association, 2011.
- FREITAS, M. B. *Tratamento de água para consumo humano. Curso de Especialização em Engenharia Sanitária e Controle Ambiental*. Rio de Janeiro, 2001.
- GOPAL, K.; TRIPATHY, S.S.; BERSILLON, J.L.; DUBEY, S.P. *Chlorination by products, their toxicodynamics and removal from drinking water*. Journal of Hazardous Materials, v. 140, n. 1-2, p. 1-6, 9 fev., 2007.
- GUERRA, H.O.C.; *Física dos Solos*. Campina Grande: UFCG, 2000. 173p.
- GUNKEL, G., RUETER, K., CASALLAS, J., SOBRAL, M. C. *Estudos da limnologia do reservatório de Tapacurá em Pernambuco: problemas da gestão de reservatórios no semiárido brasileiro*. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba, 2003.
- HACH COMPANY. *Hach DR2800 - Spectrofotometer Procedures Manual*. Hach Company, USA, 2007.
- HISCOCK, K.M., GRISCHEK, T. *Attenuation of groundwater pollution by bank filtration*. Journal of Hydrology. Vol. 266, p. 139-144. 2002
- KÜHN, W.; MÜLLER, U. *Riverbank filtration an overview*. Jounal American Water Works Association. v.92, p.60-69, 2000.
- MONDARDO, R.I.; ROMERO, L.G.; SENS, M.L. *Filtração em margem aplicada ao tratamento de água: uma avaliação sazonal da qualidade da água do manancial Lagoa do Peri*. In: 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Recife, PE-Brasil, 20-25 de setembro, 2009.

- OLIVEIRA, J.S. *Análise Sedimentar em Zonas Costeiras: Subsídio ao Diagnóstico Ambiental da Lagoa do Peri – Ilha de Santa Catarina-SC, Brasil*. Florianópolis, 2002. Dissertação (Curso de Geografia) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.
- PÁDUA, V. L.; et al. *Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano*. ABES, Belo Horizonte, 2006.
- RAY, C.; GRISCHEK, T.; *Riverbank Filtration: Understanding Contaminant Biogeochemistry And Pathogen Removal*. The Netherlands: Kluwer Academic Publ., 2009.
- RAY, C.; MELIN, G.; LINSKY, R. *Riverbank Filtration: Improving Source Water Quality*. The Netherlands: Kluwer Academic Publ., 2002.
- ROMERO, L., SENS, M., SCHOENHEINZ, D., GRISCHECK, T. In preparation. *Bank filtration water quality evaluation in a subtropical lake: Lagoa do Peri Lake in Santa Catarina, South Brazil*
- SAMPAIO, T.Q.; *Apresentação*. In: FEITOSA F. A. C.; FILHO, J. M. (Coordenação). *Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações*. (2ª edição); Fortaleza, CPRM/REFO, LABHID – UFPE, p. 341 – 346; 2000.
- SCHUBERT, J. *Hydraulic aspects of river bank filtration—field studies*. *J. of Hydrology*, v. 266, n. 3-4, p. 145-161, Set. 2002.
- SENS, M.L.; DALSASSO, R.M.; MONDARDO, R.I.; MELO FILHO, L.C. *Filtração em Margem*. In: Programa de Pesquisas em Saneamento Básico PROSAB. Contribuição ao Estudo da Remoção de Cianobactérias e Microcontaminantes Orgânicos por Meio de Técnicas de Tratamento de Água para Consumo Humano. Edital 04, 2006 p. 173-236.

SHAMRUKH, M.; ABDEL-WAHAB, A.. *Riverbank filtration for sustainable water supply: application to a large-scale facility on the Nile River*. Clean Techn Environ Policy, v. 10, p351.–358, 2008.

SIAGAS – Serviço de Informações de Águas Subterrâneas – *Mapa de Domínios Hidrogeológicos* Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>. Acesso realizado em Abril de 2012.

SIMONASSI, J.C. *Caracterização da Lagoa do Peri, através da análise de parâmetros físico-químicos e biológicos, como subsídio ao gerenciamento dos recursos hídricos da Ilha de Santa Satarina, SC, Brasil*. 2001. 66 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, 2001.

SOUZA, A.D.; SOBRAL, M. C.; GUNKEL, G. *Filtração em margens de rios e lagos como uma alternativa de tratamento de água*. In: VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, São Luis, Anais em CD-ROM, 2004.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Setting standards for safe drinking water*. 2000

WEISS, W.J.; BOUWER, E.J.; BALL, W.P.; O.'MELIA, C.R.; AURORA, H. SPETH, T.E. *Reductions in disinfection by products precursors and pathogens during riverbank filtration at three Midwestern United States drinking water utilities*. In: RAY, Chittaranjan; MELIN, Gina; LINSKY, Ronald B. (eds). *Riverbank Filtration- Improving source-water quality.*: Kluwer Academic Publishers, The Netherlands p. 147-175. 2003.

WHO. *Guidelines for drinking-water quality* [electronic resource]: incorporating 1st and 2nd addenda. Recommendations – 3rd ed, Geneva, v.1, 2008.

ZIEGLER, D. H. *Utersuchungen zur nachhaltigen Wirkung der Uferfiltration im Wassergreislauf Berlins*. Berlin: TU-Berlin, 2001.

ANEXO I : Perfil e caracterização do poço de produção (P20), conforme Norma ABNT 15495-1:2007: “Construção de poços de monitoramento e amostragem” (ABNT, 2007)

